

Julio 2022
Diciembre

e-ISSN 2389-9484







Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías.

Volumen 9 | Número 2



Revista Ciencia e Ingeniería, vol. 9, n.º 2, e7460950, 2022.
http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei

Ciencia e Ingeniería
Revista Interdisciplinar de Estudios en Ciencias Básicas e Ingenierías
ISSN 2389-9484
Año 2022, julio-diciembre, Vol. 9, N.º 2, e7460950
Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas y *Facultad Ingeniería*. Universidad de La Guajira
La Guajira, Riohacha, Colombia
http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei
Este documento fue depositado en Zenodo. DOI: https://www.doi.org/10.5281/zenodo.7460950

ESTUDIO DEL POTENCIAL EÓLICO *OFFSHORE* DE LA ZONA COSTERA CARIBE DE COLOMBIA

Study of the offshore wind power potential of the caribbean coastal area of Colombia

Sebastián Andrés Estrada Girado
https://orcid.org/0000-0003-3972-2978.
saestrada@uniguajira.edu.co
Ingeniero Mecánico. Universidad de La Guajira. Colombia.

Frank Steven Martinez Ruiz
https://orcid.org/0000-0001-9962-6887
fsmartinez@uniguajira.edu.co
Ingeniero Mecánico. Universidad de La Guajira. Colombia.

Carlos David Vides Prado
https://orcid.org/0000-0002-8351-1695.
cdvides@uniguajira.edu.co
Magister en Energías Renovables, Pilas de Combustible e Hidrógeno. Universidad de La Guajira. Colombia

RESUMEN

La energía eólica se ha convertido en una de las energías renovables de mayor crecimiento en la última década. En Colombia, el potencial eólico tiene capacidades importantes para contribuir al progreso en términos energéticos del país, siendo una fuente potencial de desarrollo sustentable. En este artículo se busca evaluar la generación de energía eléctrica a partir de un aerogenerador *offshore* de la empresa VESTAS en diferentes puntos de la región Caribe de Colombia con base a las velocidades de viento, parámetros de escala y parámetros de forma, ofrecidas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM, con el fin de analizar a la costa Caribe como candidato para la producción en energía eólica *offshore* en Colombia. En base a los datos anteriormente mencionados, se realizaron cálculos estadísticos con el fin de estimar la producción de energía anual en cada uno de los puntos de interés y de esta manera determinar los lugares y departamentos más factibles, para la instalación de parques eólicos *offshore* en Colombia.

Palabras clave: energía eólica offshore, zona costera, potencial eólico.

ABSTRACT

Wind energy has become one of the fastest growing renewable energies in the last decade. In Colombia, the wind potential has important capacities to contribute to the country's progress in terms of energy, being a potential source of sustainable development. This article seeks to evaluate the generation of electrical energy from an offshore wind turbine of the VESTAS company in different points of the Caribbean region of Colombia based on wind speeds, scale parameters and shape parameters, offered by the Instituto of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies of Colombia IDEAM, in order to analyze the Caribbean coast as a candidate for offshore wind energy production in Colombia. Based on the aforementioned data, statistical calculations were made in order to estimate the annual energy production in each of the points of interest and thus determine the most feasible places and departments for the installation of offshore wind farms in Colombia.

Keywords: ffshore wind energy, coastal zone, wind potential.

Recibido: 3 de mayo de 2022
Aceptado: 21 de septiembre de 2022



Introducción

En los últimos años se ha observado un incremento importante en las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente de dióxido de carbono CO2 estos gases han sido emitidos al medio ambiente en gran medida debido a la implementación de los recursos fósiles como fuentes para la generación de energía (United Nations Environment Programme, 2021). Por su parte las energías renovables son amigables con el medio ambiente y representan una opción para mitigar el impacto negativo del uso de combustibles fósiles.

En Colombia, la potencia instalada está distribuida así: la hidroeléctrica contribuye con el 68,3%, las centrales térmicas aportan el 30,7%, la energía eólica un 0,1%, la energía solar el 0,1% y la cogeneración alrededor del 1% (Acolgen, 2022). Entonces, la energía hidráulica y las centrales térmicas representan más del 98% de la capacidad energética instalada, observándose poca diversificación del mix energético para la alimentación de los diferentes sectores del país, lo que podría representar riesgos de seguridad de abastecimiento.

El modelo actual representa desventajas, ya que la energía hidráulica se ve amenazada por la escasez de yacimientos de agua a causa de fenómenos naturales como el Niño(Navarro-monterroza, 2019) y los combustibles fósiles generan un daño irreparable al medio ambiente(Peters et al., 2020). Ante estas amenazas, se debería considerar una mayor variabilidad de energías renovables que sirvan como generador de energía limpias con el medio ambiente, que no produzcan gases de efecto invernadero y que no dependan de los combustibles fósiles. A su vez, disminuyen los riesgos de no obtener energía hidroeléctrica por fenómenos ambientales naturales.

Una opción viable que ha presentado un gran crecimiento para cubrir demandas energéticas es la energía obtenida a través del viento (energía eólica). La energía eólica es uno de los pilares primordiales para la descarbonización prematura del planeta(Liu et al., 2019), sin embargo, es centro de críticas por el riesgo de mortalidad en aves en los parques eólicos(Saidur et al., 2011). Esta energía ha demostrado tener un potencial energético muy atractivo como también resulta financieramente aceptable, debido a que se ha avanzado en ingenierías y tecnologías para que sus componentes sean más económicos en la última década(Sadorsky, 2021). En Colombia, el potencial eólico que posee es muy alto específicamente en las zonas costeras del país, debido a su posición geográfica cuenta con las mejores condicientes de velocidades de viento tanto en el mar como en tierra, dado que la velocidad del viento es el criterio más significativo, las zonas con mejor calificación se halla hacia el norte del departamento de La Guajira (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2018). Pero hoy en día este potencial eólico se encuentra obstaculizado por la falta de políticas que impulsen la implementación proyectos eólicos, el financiamiento de dichos proyectos, el difícil acceso a los sectores por poca infraestructuras o vías, el rechazo cultural por parte de las comunidades indígenas donde se desean realizar los proyectos debido a que la mayoría de los proyectos están ubicados en territorios ancestrales (resguardos indígenas). Estos son unos de los obstáculos más relevantes a los que debe enfrentarse la elaboración de proyectos eólicos en las zonas costeras colombianas. Es así como debería considerarse otros sitios para la ubicación de los proyectos eólicos, como es el caso de los parques eólicos en alta mar (aerogeneradores *offshore*), donde las condiciones de la velocidad del viento son ideales (Cevasco et al., 2021) y sin problemáticas con las comunidades indígenas por la ocupación de los resguardos culturales ancestrales.

Materiales y métodos

Colombia es un país privilegiado al contar con dos océanos y extensas áreas costeras, con un gran potencial eólico. De acuerdo con mediciones realizadas por centrales meteorológicas ubicadas en zonas costeras cuyos departamentos son: La Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba. Para la toma de datos se seleccionó los lugares con mejores condiciones geográficas y meteorológicas, para realizar el análisis se tomaron los parámetros velocidad de viento promedio (vel. Prom.), parámetro de escala (c), parámetro de forma (k) del atlas de viento proporcionado por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), con estos datos se aplicó la ecuación de distribución de Weibull.

El parámetro de escala (c), permite identificar el grado de dispersión de los datos alrededor de la media, evaluando qué tan alargada resulta en comparación a una distribución normal. Esta variabilidad de los datos depende de la varianza que, a su vez, resulta de la combinación entre los datos cercanos y alejados de la media en la serie de valores de velocidad del viento.

El parámetro de forma (k), representa la pendiente de la distribución de Weibull. Permite modelar la curva de la distribución y, por tanto, el grado de variación del comportamiento de alguna variable en particular, en este caso, el viento.

La distribución de probabilidad de Weibull permite describir la variación del viento en un emplazamiento típico, puesto que permite representar en gran medida la asimetría que presenta el comportamiento del viento.

En este sentido, la desviación estándar asociada a esta distribución permite valorar la dispersión de un conjunto de datos alrededor de su valor medio, en función de los parámetros de la distribución de Weibull, matemáticamente se expresa.

Desviación estándar de Weibull (Seguro & Lambert, 2000).

$$\boldsymbol{\sigma(C,K) = C\sqrt{\Gamma\left(1+\frac{2}{K}\right) - \Gamma^{2}\left(1+\frac{2}{K}\right)}} \qquad \text{Ec. (1)}$$

Nota: Esta ecuación permite determinar la probabilidad de ocurrencia de velocidad del viento tomando el parámetro de forma "K" y escala "C"

Primero se tomó la velocidad promedio de cada uno de los departamentos en el lugar donde las condiciones climatológicas fueran las más optimas, dando como resultado esta tabla *offshore*.

Tabla 1. Velocidad promedio del viento *offshore* en los departamentos costeros de Colombia, 2021.

Offshore	
Departamento	Velocidad promedio (m/s)
Atlántico	15
Bolívar	13.5
Cauca	8
Choco	7
Córdoba	10
La Guajira	13.3
Magdalena	14.5
Nariño	9
Sucre	11
Valle del cauca	7

Nota: Las velocidades de viento fueron todamas del atlas de viento del IDEAM.

Los análisis de datos se enfocaron en los departamentos donde la viabilidad de los proyectos sea elevada, tomando como referencia las velocidades y su variabilidad vientos promedio en los lugares más prometedores. Las velocidades de viento mayores a *10 m/s* a una altura de *150m* de altura. Por lo tanto, se seleccionaron los departamentos de la costa caribe en *offshore*: Atlántico, Bolívar, Córdoba, La Guajira, Magdalena y Sucre. Ya que en el mar es donde las condiciones de viento son más constantes anualmente, como se menciona anteriormente, estas son ideales y no generan problemas a las comunidades.

El aerogenerador tomado como referencia es el *VESTAS V164 de 9.5MW* (Vestas, 2022), uno de los más potentes instalados hasta la actualidad, diseñados con el propósito de ser usados en *offshore*. Utilizados en parque eólicos como Northwester 2 (Bélgica), V164/9500 Prototype (Dinamarca), Groix (Francia), Changfang 1 (Taiwán), Kincardine offshore Windfarm (Reino Unido), entre otros. La potencia disponible que puede alcanzar el aerogenerador *VESTAS V164 de 9.5MW* depende de las velocidades de viento donde este sea instalado, la potencia que dichos aerogeneradores pueden llegar a producir está representado en la siguiente curva de potencia del aerogenerador, proporcionada por el fabricante de los aerogeneradores (VESTAS, 2019).

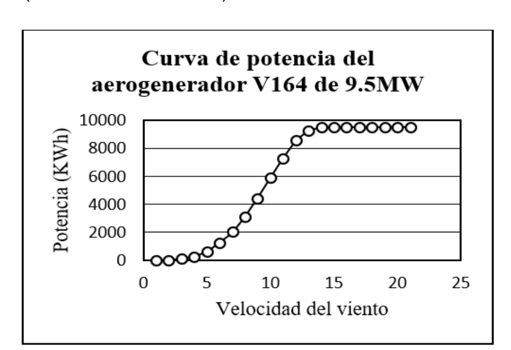


Fig. 1. Curva de potencia del Aerogenerador VESTAS V164 de 9.5MW

Nota. La curva de potencia relaciona la energía producida con respecto a la velocidad del viento a la altura de la góndola los datos son proporcionados por el fabricante VESTAS.

Resultados y discusión

Las velocidades de viento, el parámetro de escala (c), el parámetro de forma (k) son necesarias para calcular la energía anual teórica, las muestras de estudios son escogidas en base a las condiciones de viento por medio del atlas meteorológico de viento del IDEAM con apoyo de la UPME 2021. Teniendo todos los datos de los lugares de interés y usando la desviación de Weibull con el aerogenerador escogido VESTAS V164 de 9.5MW se realizó una estimación de producción de energía anual en cada uno de los puntos de interés y de esta manera determinar los lugares y departamentos más factibles. Se decidió usar la distribución de Weibull, para cálculos más exactos. Ya que se requiere mediciones y variables que solo se pueden tomar en la zona de interés en un tiempo prolongado.

La energía promedio año, de cada punto de estudio son representadas en las siguientes tablas.

Tabla 2. Energía producida por año para cada departamento.

ATLÁNTICO			
Muestra	Velocidad promedio	Energía promedio año GWh	K
PUNTO 1	15	65.44	3.5
BOLÍVAR			
MUESTRA	VELOCIDAD PROMEDIO	ENERGÍA PROMEDIO AÑO GWh	K
PUNTO 1	14	59.57	3
PUNTO 2	13	52.36	2.5
CÓRDOBA			
MUESTRA	VELOCIDAD PROMEDIO	ENERGÍA PROMEDIO AÑO GWh	K
PUNTO 1	10	40.21	3
LA GUAJIRA			
MUESTRA	VELOCIDAD PROMEDIO	ENERGÍA PROMEDIO AÑO GWh	K
PUNTO 1	12	56.7	4
PUNTO 2	15	73.36	5
PUNTO 3	13	64.9	4.5
PROMEDIO	13.3	64.987	4.5
MAGDALENA			

MUESTRA	VELOCIDAD PROMEDIO	ENERGÍA PROMEDIO AÑO GWh	K
PUNTO 1	15	68.93	4
PUNTO 2	14	59.57	3
PROMEDIO	14.5	64.25	3.5
SUCRE			
MUESTRA	VELOCIDAD PROMEDIO	ENERGÍA PROMEDIO AÑO GWh	K
PUNTO 1	11	44.82	2.5

Los puntos tomados están entre 10 y 15 Km de distancia de tierra firme.

Promediando las energías potenciales de cada departamento de la costa caribe colombiana, el potencial energético eólico, llegando a producir en la región 55.9 GWh/año con tan solo un aerogenerador y a su vez mas de 13 mil GWh/año con tan solo 250 aerogeneradores instalados en *offshore*. Llegando a producir hasta el 20% de la demanda anual del país, de 85.336 GWh/año demanda energética de Colombia 2022 (XM, 2022). Tal capacidad podría abastecer a millones de hogares del país.

El potencial energético que pueden llegar a tener las zonas costeras en Colombia puede representarse tomando como ejemplo, una granja de parques eólicos en toda la región Caribe, donde las velocidades de viento son las más optimas, Con capacidad de 1000 aerogeneradores *offshore* se podría producir una cantidad de 55,945.3GWh/año. superior a la central hidroeléctrica más grande del país que llegara a producir alrededor de 13,900GWh/año, con tal energía se podría cubrir hasta el 79% de la demanda energética anual, con la capacidad de alimentar hasta más de 13 millones de hogares. Sin mencionar que la puesta en marcha de los parques eólicos puede ser por etapa hasta llegar a la etapa final. Permitiendo que cuando una etapa esté finalizada los aerogeneradores instalados puedan producir energía eléctrica sin ninguna restricción. Esta es una de las mayores ventajas que tiene la energía eólica, su producción es casi inmediata, posteriormente a la instalación y esta a su vez es de un corto tiempo. Si se compara con la central hidroeléctrica más grande del país que llevado más de 10 años su construcción y no generara energía eléctrica hasta la terminación de su construcción.

Conclusiones

Teniendo en cuenta la información recopilada a lo largo de este artículo se puede determinar, la gran importancia e impacto positivo de la energía eólica, convirtiendo al país en un posible generador de energía renovable de mayor relevancia de Suramérica. Teniendo su mayor potencial en las zonas costeras (costa Caribe) de tipo *offshore*, gracias a lo expuesto en este artículo se pudo determinar que no todas las zonas costeras colombianas cuentan con buenas características para la implementación de parques eólicos, como es el caso de la costa pacífica colombiana, ya que sus velocidades de viento promedio son muy bajas y las rosas de viento son muy variables, adicionalmente en las costas pacificas el nivel socioeconómico es muy bajo, como una infraestructura precaria, para la instalación de proyectos eólicos. Estas razones establecen una inviabilidad para la instalación parques eólicos en la costa pacífica.

El país se enfrenta a un reto, donde actualmente ha dado un gran salto en la implementación de energías renovables y siendo la energía eólica una opción más recomendable. Tomando en cuenta que el país depende fundamentalmente de la energía hidráulica y en tiempos de sequía la fuente de respaldo son los combustibles fósiles, esta es una de las razones por la que debe realizarse la transición a generación de respaldo más amigable con el medio ambiente. Dando lugar a la energía eólica como no solo una fuente de respaldo, sino que también como generación electica principal a la mano de la energía hidroeléctrica del país. Dando así una oportunidad dejar de depender de los combustibles fósiles y llegar a ser un país autosuficiente por energías limpias. Pero queda un gran camino y retos por delante para efectuar proyectos eólicos en especial la *offshore*.

Literatura citada

Acolgen. (2022). *Capacidad instalada en Colombia*. www.acolgen.org.co

Cevasco, D., Koukoura, S., & Kolios, A. J. (2021). Reliability , availability , maintainability data review for the identification of trends in offshore wind energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *136*(October 2020), 110414. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110414

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2018). *Atlas de clima, radiación y viento de Colombia*.

Liu, H., Chen, C., Lv, X., Wu, X., & Liu, M. (2019). Deterministic wind energy forecasting : A review of intelligent predictors and auxiliary methods. *Energy Conversion and Management*, *195*(January), 328–345. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.05.020

Navarro-monterroza, E. (2019). *El Niño-Oscilación del Sur , fase Modoki , y sus efectos en la variabilidad espacio-temporal de la precipitación en Colombia*. *43*(166), 120–132.

Peters, G. P., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Friedlingstein, P., Jackson, R. B., Korsbakken, J. I., Le Quéré, C., & Peregon, A. (2020). Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies. *Nature Climate Change*, *10*(1), 3–6. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0659-6

Sadorsky, P. (2021). Wind energy for sustainable development : Driving factors and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, *289*, 125779. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125779

Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., & Solangi, K. H. (2011). Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *15*(5), 2423–2430. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024

Seguro, J. V, & Lambert, T. W. (2000). *Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis*. *85*.

United Nations Environment Programme. (2021). *Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On*. https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021

Vestas. (2022). *V164-9.5 MW*. https://www.vestas.com/en/products/offshore/V164-9-5-MW

XM. (2022). *Pronóstico de demanda*. https://www.xm.com.co/consumo/pronostico-de-demanda